

**EVALUASI KEAMANAN PADA SISTEM PENTANAHAN
GARDU INDUK 150 KV MANISREJO KOTA MADIUN**



**Disusun sebagai salah satu syarat menyelesaikan Program Studi Strata I
pada Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknik**

Oleh:

GERALDY OCTAVIANTO JAOGA

D400160023

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SURAKARTA
2020**

HALAMAN PERSETUJUAN

**EVALUASI KEAMANAN PADA SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK
150 KV MANISREJO KOTA MADIUN**

PUBLIKASI ILMIAH

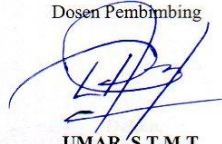
Oleh:

GERALDY OCTAVIANTO JAOGA

D400160023

Telah diperiksa dan disetujui untuk diuji oleh:

Dosen Pembimbing



UMAR S.T.M.T

NIK. 731

HALAMAN PENGESAHAN

EVALUASI KEAMANAN PADA SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK
150 KV MANISREJO KOTA MADIUN

OLEH

GERALDY OCTAVIANTO JAOGA

D400160023

Telah dipertahankan di depan Dewan Penguji
Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro
Universitas Muhammadiyah Surakarta
Pada hari Sabtu, 1 Februari 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Dewan Penguji:

1. Umar, S.T,M.T.

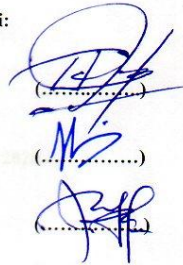
(Ketua Dewan Penguji)

2. Hasyim Asy'ari, S.T,M.T.

(Anggota I Dewan Penguji)

3. Aris Budiman, S.T,M.T.

(Anggota II Dewan Penguji)



Dekan,



Ir. Sri Sumartono, M.T, Ph.D

NIK. 628

PERNYATAAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa dalam naskah publikasi ini tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar kesarjanaan di suatu perguruan tinggi dan sepanjang pengetahuan saya juga tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan orang lain, kecuali secara tertulis diacu dalam naskah dan disebutkan dalam daftar pustaka.

Apabila kelak terbukti ada ketidakbenaran dalam pernyataan saya di atas, maka akan saya pertanggungjawabkan sepenuhnya.

Surakarta, 1 Februari 2020

Penulis



GERALDY OCTAVIANTO JAOGA

D400160023

EVALUASI KEAMANAN PADA SISTEM PENTANAHAN GARDU INDUK 150 KV MANISREJO KOTA MADIUN

Abstrak

Sistem pentanahan adalah saluran yang menghubungkan perangkat listrik dengan tanah sehingga dapat melindungi bahaya arus yang dapat merusak peralatan instalasi dan dapat membahayakan keselamatan manusia. Sistem pentanahan dilakukan dengan memasukkan batang konduktor ke dalam tanah. Sebab itu sistem pentanahan bagian penting dari sistem tenaga listrik. Tujuan dari metode ini adalah untuk melindungi tenaga kerja dan peralatan yang ada di gardu induk, yang diharapkan dengan metode pembedahan ini, dapat menghindari bahaya jika terjadi gangguan. Penelitian ini dimulai dari studi literatur pada sistem pentanahan gardu induk Manisrejo. Kemudian dilakukan pengambilan data ke Gardu Induk 150 kV Manisrejo yang berada di kota Madiun untuk menghitung tahanan jenis, arus fibrilasi, tegangan sentuh, tegangan langkah dan tegangan pindah. Hasil penelitian di gardu induk Manisrejo diperoleh hasil nilai tahanan pentanahan yaitu kurang dari 1Ω selama kurang waktu tahun 2019. Hasil dari tegangan sentuh di gardu induk 150 kV Manisrejo masih dibawah batas aman yaitu sebesar 464 volt dan 195 volt untuk tegangan langkah, sedangkan untuk tegangan pindah di peroleh hasil yaitu 3399,9 volt.

Kata Kunci : Pentanahan, Gardu Induk, Tegangan sentuh, Tegangan langkah, Tegangan pindah

Abstract

Grounding system is a conductor that connects electrical devices with the ground so as to protect the current dangers that could damage the equipment installation and can endanger human safety. Earthing system is done by inserting a conductor rod into the ground. Therefore, earthing systems become an essential part of the electric power system. The goal is to protect workers who were around substations and equipment to be expected with this grounding method, can avoid the dangers if the disorder. This study starts from literature regarding the grounding system of 150 kV substations Manisrejo. Furthermore, the data retrieval to the substation to calculate the soil resistivity, current fibrillation, touch voltage, voltage and voltage step move. The research results obtained results Manisrejo substation earthing resistance value that is less than 1Ω for less time in 2019. The results of the touch voltage at the 150 kV substation Manisrejo are still below the safe limit of 464 volts and 195 volts for the step voltage, while for the transfer voltage the results are 3399.9 volts.

Keywords : Grounding, Substation, touch voltage, step voltage, voltage switch

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan salah satu kebutuhan paling utama pada saat ini. Penggunaan energi listrik tidak hanya berguna untuk kebutuhan penerangan dan rumah tangga, tetapi juga berguna untuk mendukung kegiatan pendidikan dan perekonomian. Zaman yang semakin maju maka kebutuhan energi listrik mengalami peningkatan dari tahun ke tahun, sehingga menyebabkan permintaan energi listrik cenderung mengalami peningkatan untuk memenuhi kebutuhan manusia akan energi listrik (Gantara, 2018).

Gardu Induk merupakan sistem tenaga listrik yang berfungsi sebagai distribusi aliran daya listrik dari saluran transmisi ke saluran transmisi lainnya dan kemudian didistribusikan ke konsumen (Syofian, 2013). Perannya yang sangat penting dalam menyalurkan tenaga listrik dan menjadi penghubung listrik dari pembangkit ke jaringan transmisi, sehingga diperlukan keandalan untuk melindungi peralatan instalasi dan makhluk hidup di sekitar gardu induk. Sistem pentanahan Gardu Induk 150 kV Manisrejo menerapkan sistem pentanahan mesh (jaring laba-laba). Pemasangan konduktor memanjang dan melintang dibawah tanah yang terhubung satu sama lain di setiap tempat untuk membentuk mesh (IEEE Std. 80-2000). Konduktor ditanam dengan posisi vertical ke tanah dimana sudah ditentukan panjangnya (IEEE Std.81-1983). Pentanahan yang ideal harus memberikan nilai tahanan pentanahan mendekati nol atau ≤ 1 ohm untuk gardu induk bertegangan tinggi (ANSI/IEEE Std 80-1986).

Sistem pentanahan merupakan saluran yang menghubungkan perangkat listrik ke tanah sehingga dapat melindungi bahaya arus yang dapat merusak peralatan instalasi dan membahayakan keselamatan pekerja (Riyanto, 2019). Melihat pentingnya sistem pentanahan untuk gardu induk. Pembumian dapat dilakukan dengan menanam batang elektroda ke dalam tanah pada kedalaman beberapa cm, sejajar dengan permukaan tanah. Tujuannya adalah untuk melindungi

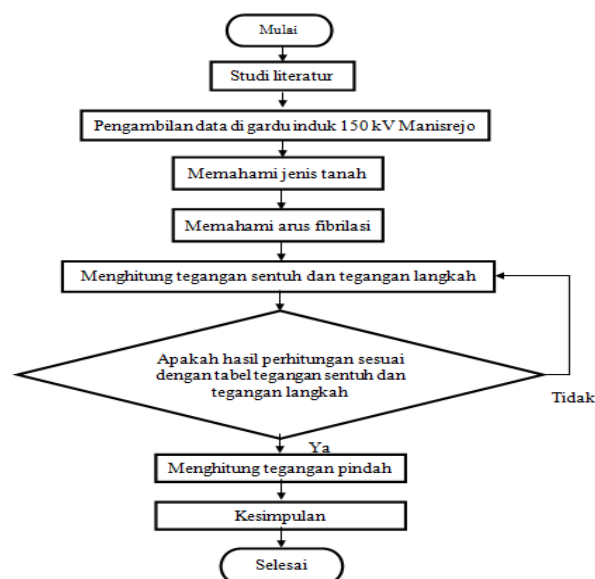
pekerja yang berada di gardu induk dan peralatan terpasang. Metode pembumian ini diharapkan untuk mencegah bahaya jika terjadi gangguan.

Pelaksanaan penelitian ini dikarenakan penulis ingin mengetahui tahanan jenis tanah, nilai tegangan sentuh, tegangan langkah dan tegangan pindah di gardu induk 150 kV Manisrejo yang sangat berbahaya terhadap manusia khususnya pekerja dan peralatan instalasi di gardu induk 150 kV Manisrejo kota Madiun.

2. METODE

Metode yang digunakan peneliti adalah yang pertama dengan melakukan studi literatur mengenai keamanan pada sistem pentanahan gardu induk dengan mempelajari buku-buku, karya ilmiah, *browsing* dan referensi lainnya yang berkaitan dengan penelitian ini. Setelah itu dilakukan pengambilan data-data di gardu induk 150 kV manisrejo kota madiun. Setelah semua data terkumpul tahap selanjutnya adalah pengolahan data yang berupa menghitung tahanan jenis tanah, arus fibrilasi, tegangan sentuh diijinkan, tegangan sentuh sebenarnya, tegangan langkah diijinkan, tegangan langkah sebenarnya dan tegangan pindah.

Flowchart penelitian



Gambar 1. Diagram alir penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sistem pentanahan di gardu induk 150 kV Manisrejo menggunakan sistem pentanahan jala (jaring laba-laba). Konduktor pentanahan terbuat dari tembaga dengan diameter 10 mm dan memiliki konduktivitas yang cukup tinggi. Konduktor ditanam sedalam 100 cm. Pemasangan konduktor dilakukan dengan cara dimasukkan secara vertikal ke tanah dan ditanam secara horizontal memanjang dan melintang di bawah tanah yang terhubung satu sama lain di setiap tempat untuk membentuk mesh. Hasil pengukuran ketahanan bumi pada gardu induk 150 kV Manisrejo adalah ≤ 1 ohm untuk waktu yang lebih sedikit di tahun 2019

3.1 Jenis Tanah

Dalam membuat perancangan sistem pentanahan gardu induk perlu dilakukan survey lapangan untuk mengetahui jenis tanah yang berada di gardu induk. Jenis tanah yang ada di gardu induk 150 kV Manisrejo adalah jenis tanah liat dan tanah ladang yang jenis tanah rata-rata nya adalah 100 Ω .m.

Tabel 1. Resistansi Jenis Tanah

No	Jenis tanah	Resistansi jenis tanah (Ω .m)
1	Tanah rawa	30
2	Tanah liat dan Tanah ladang	100
3	Pasir basah	200
4	Kerikil basah	500
5	Pasir dan kerikil kering	1000
6	Tanah Berbatu	3000

3.2 Arus Fibrilasi

Arus fibrilasi merupakan sebuah arus yang membahayakan tubuh manusia apabila arus tersebut sampai mempengaruhi otot manusia karena dapat menyebabkan orang pingsan atau dapat berujung kematian (Tanjung A). Jumlah arus fibrilasi yang mengalir ke tubuh dapat dihitung dengan persamaan berikut :

$$I_k = \frac{k}{\sqrt{t}} \quad (1)$$

Keterangan :

I_k : Arus fibrilasi (A)

k : 0,116 A untuk berat badan 50 kg

\sqrt{t} : (0,5 detik) Lama gangguan tanah

$$I_k = \frac{0,116}{\sqrt{0,5}} = 0,164 \text{ A}$$

3.3 Arus gangguan

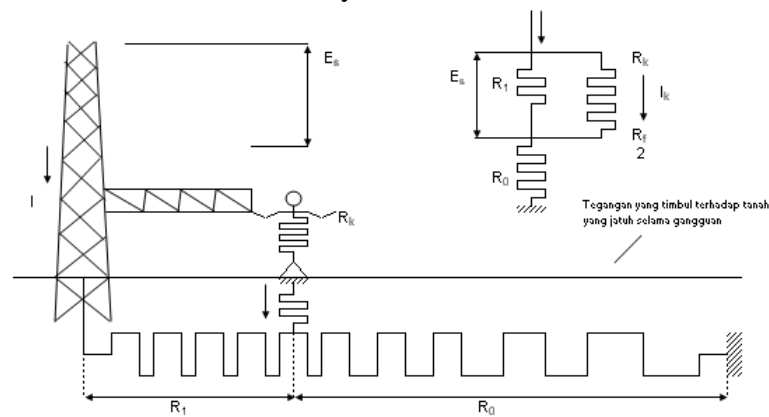
Arus gangguan tanah maksimum didasarkan pada peralatan pentanahan gardu induk dari nilai pemutusan (*interrupting rating*), untuk tegangan 150 kV arus gangguan tanah diambil 70% dari arus hubung singkat 3 fasa. Data pada gardu induk 150 kV Manisrejo yaitu sebesar 5508 A untuk data arus hubung singkat 3 fasa. Hasil yang diperoleh dari besarnya arus gangguan tanah adalah sebagai berikut :

$$70\% \times \text{ arus hubung singkat 3 fasa} \quad (2)$$

$$I = 70\% \times 5508 = 3885,6 \text{ A}$$

3.4 Tegangan Sentuh

Tegangan sentuh adalah tegangan yang teraliri arus listrik ketika seseorang menyentuh benda atau konduktor dimana orang itu juga menyentuh tanah. Tegangan sentuh dibagi menjadi 2 yaitu tegangan sentuh maksimum diizinkan dan tegangan sentuh maksimum sebenarnya.



Gambar 2. Rangkaian pengantinya untuk tegangan sentuh

3.4.1 Tegangan sentuh maksimum diizinkan

Tegangan sentuh maksimum diizinkan diperoleh rumus sebagai berikut :

$$E_s = I_k (R_k + 1,5 \rho_s) \quad (3)$$

Keterangan :

E_s = Tegangan sentuh

I_k = Arus fibrilasi (0,164A)

R_k = Tahanan tubuh manusia (1000 Ω)

ρ_s = Tahanan jenis permukaan tanah yang diberi batu koral (3000 Ω .m)

Maka tegangan sentuh maksimum diizinkan yang diperoleh adalah

$$E_s = 0,164 (1000 + 1,5 (3000)) = 902 \text{ V}$$

Tabel 2 menampilkan ketentuan berdasarkan lama gangguan tanah 0,5 detik tegangan sentuh maksimum diizinkan diperoleh tegangan 890 volt, dalam perhitungan penelitian ini tegangan sentuh maksimum diizinkan di gardu induk 150 kV Manisrejo lebih besar yaitu 902 volt, hasil tersebut menunjukkan tegangan maksimum di izinkan di gardu induk 150 kV Manisrejo cukup aman untuk para pekerja yang ada di gardu induk tersebut.

Tabel 2. Tegangan sentuh maksimum di izinkan dan gangguan

Gangguan per detik	Tegangan sentuh maksimum di izinkan (volt)	Perhitungan Manual (volt)
0,1	1970	2013
0,2	1400	1424
0,3	1140	1160
0,4	990	1006
0,5	890	902
1	626	638
2	443	451
3	362	363

3.4.2 Tegangan sentuh maksimum sebenarnya

Tegangan sentuh maksimum sebenarnya diperoleh rumus sebagai berikut :

$$E_m = K_m \cdot K_i \cdot \rho \frac{I}{L} \quad (4)$$

Dimana,

$$K_M = \frac{1}{2\pi} \ln \frac{D^2}{16hd} + \frac{1}{\pi} \ln \left\{ \frac{3}{4} \times \frac{2(n-2)+1}{2(n-2)+2} \right\} \quad (5)$$

Keterangan :

K_i = Faktor koreksi untuk ketidakmerataan kerapatan arus yang dihitung dengan rumus empiris sebagai berikut $= 0,65 + 0,172 \times n = 4,434$

D = 4 meter (jarak antar konduktor)

h = 1 meter (kedalaman penanaman konduktor)

d = 0,01 meter (diameter konduktor)

n = 22 (jumlah konduktor)

ρ = 100 $\Omega \cdot m$ (tahanan jenis tanah rata-rata)

I = 3885 (arus gangguan)

L = 2350 meter (total panjang konduktor yang ditanam kedalam tanah, dan batang pentanahan)

K_M = 0,6337

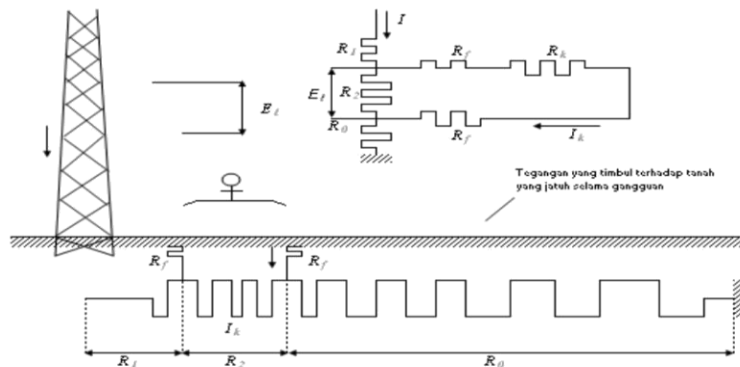
Sehingga hasil yang dapat diperoleh yaitu :

$$E_m = (0,6337 \times 4,434) \times \left(100 \frac{3885}{2350} \right) = 464 \text{ V}$$

Berdasarkan perhitungan dalam penelitian ini, tegangan sentuh maksimum sebenarnya di gardu induk 150 kV Manisrejo diperoleh hasil yaitu 464 volt

3.5 Tegangan Langkah

Tegangan langkah adalah tegangan yang muncul diantara dua sela-sela kaki orang yang berada di atas permukaan tanah yang sedang di aliri arus gangguan hubung tanah (Dawalibi, W.Xiong, Jinxi. 1995). Terdapat dua jenis tegangan langkah yaitu tegangan langkah maksimum diizinkan dan tegangan langkah maksimum sebenarnya.



Gambar 3. Tegangan langkah dekat peralatan yang di tetanahkan

3.5.1 Tegangan langkah maksimum diizinkan

Tegangan langkah maksimum diizinkan diperoleh rumus sebagai berikut :

$$E_l = I_k (R_k + 6 \rho_s) \quad (6)$$

Keterangan :

E_l = Tegangan langkah (V)

I_k = Arus fibrilasi (0,164 A)

R_k = Tahanan tubuh manusia (1000 ohm)

R_f = Tahanan kontak ke tanah dari satu kaki ($3 \rho_s \Omega$)

t = Waktu kejut (detik)

ρ_s = Tahanan jenis tanah disekitar permukaan tanah yang dilapisi batu koral ($3000 \Omega.m$)

sehingga hasil yang dapat diperoleh yaitu :

$$E_l = 0,164 (1000 + 18000)$$

$$= 3116 \text{ V}$$

Tabel 3. Menampilkan ketentuan berdasarkan lama gangguan tanah 0,5 detik tegangan langkah maksimum diizinkan diperoleh tegangan 3140 volt, dalam perhitungan penelitian ini tegangan sentuh maksimum sebenarnya di gardu induk 150 kV Manisrejo lebih kecil yaitu 3116 volt, hasil tersebut menunjukkan tegangan langkah maksimum diizinkan di gardu induk 150 kV Manisrejo aman untuk para pekerja yang ada di gardu induk tersebut.

Tabel 3. Tegangan langkah maksimum diizinkan dan gangguan

Gangguan per detik	Tegangan langkah maksimum diizinkan (volt)	Perhitungan Manual (volt)
0,1	7000	6954
0,2	4950	4921
0,3	4040	4009
0,4	3500	3477
0,5	3140	3116
1,0	2216	2204
2,0	1560	1558
3,0	1280	1254

3.5.2 Tegangan langkah maksimum sebenarnya

Tegangan langkah maksimum sebenarnya diperoleh rumus sebagai berikut :

$$E_{lm} = K_s \cdot K_i \cdot \rho \frac{I}{L} \quad (7)$$

Dimana,

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2h} + \frac{1}{D+h} + \frac{1}{2D} + \frac{1}{(n-1)D} \right) \quad (8)$$

$$K_s = \frac{1}{\pi} \left(\frac{1}{2(1)} + \frac{1}{4+1} + \frac{1}{2(4)} + \frac{1}{(22-1)4} \right)$$

$$= 0,2664$$

Keterangan :

K_s = Nilai konstanta tegangan langkah sebenarnya

K_i = Faktor koreksi untuk ketidakmerataan kerapatan arus yang dihitung dengan rumus empiris sebagai berikut $= 0,65 + 0,172 \times n = 4,434$

ρ = 100 Ω .m (tahanan jenis tanah rata-rata)

I = 3885,6 (arus gangguan)

L = 2350 meter (total panjang konduktor yang ditanam ke dalam tanah, dan batang pentanahan)

$h = 1$ meter (kedalaman penanaman konduktor)

$D = 4$ meter (jarak antar konduktor)

$n = 22$ (jumlah konduktor)

sehingga hasil yang diperoleh yaitu :

$$E_{lm} = 0,2664 \times 4,434 \times \left(100 \frac{3885}{2350} \right) = 195 \text{ V}$$

Berdasarkan perhitungan dalam penelitian ini, tegangan langkah maksimum sebenarnya di gardu induk 150 kV Manisrejo diperoleh hasil yaitu 195 volt

3.6 Tegangan Pindah

Tegangan pindah adalah tegangan yang terjadi apabila ada seorang yang sedang berdiri di sekitar gardu induk dan menggenggam peralatan gardu induk yang diketanahkan pada titik yang jauh saat peralatan tersebut sedang teraliri oleh arus gangguan pada tanah.

Tegangan pindah diperoleh rumus sebagai berikut :

$$E_p = I \times R_0 \tag{9}$$

Dimana :

$$R_0 = \frac{\rho}{4R} + \frac{\rho}{L}$$

$$R_0 = \frac{100}{4(30)} + \frac{100}{2350} = 0,875 \text{ ohm}$$

Keterangan :

$\rho = 100 \text{ } \Omega \cdot \text{m}$ (tahanan jenis tanah rata-rata)

$R = 30$ meter (jari-jari ekuivalen yang terdapat pada luas switchyard gardu induk)

$L = 2350$ meter (total panjang konduktor yang ditanam ke dalam tanah, dan batang pentanahan)

$I = 3885,6$ (arus gangguan)

sehingga hasil yang diperoleh yaitu :

$$E_p = 3885,6 \text{ A} \times 0,875 \text{ } \Omega = 3399,9 \text{ volt}$$

4. PENUTUP

Berdasarkan dari hasil penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

- 1) Gardu induk 150 kV Manisrejo memiliki jenis tanah berupa tanah liat yang memiliki tahanan tanah 100 ohm.
- 2) Hasil penelitian tegangan sentuh diizinkan di Gardu induk 150 kV Manisrejo yaitu 902 volt dan pada tegangan sentuh sebenarnya yaitu sebesar 464 volt.
- 3) Hasil penelitian tegangan langkah diizinkan di Gardu induk 150 kV Manisrejo yaitu 3116 volt dan pada tegangan langkah sebenarnya yaitu sebesar 195 volt.
- 4) Hasil penelitian tegangan pindah di Gardu induk 150 kV Manisrejo yaitu sebesar 3399,9 volt.

PERSANTUNAN

Dengan segala puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas dukungan dan doa dapat diselesaikan tugas akhir ini, oleh karena itu penulis mengucapkan terimakasih kepada :

- 1) Tuhan Yang Maha Esa, karena hanya atas izin, ridho dan karuniaNya tugas akhir ini dapat dibuat dan selesai pada waktunya.
- 2) Kepada bapak, ibuk dan adik yang telah memberikan dukungan moril maupun materi serta doa yang tiada henti untuk kesuksesan saya.
- 3) Kepada teman dekat saya Regina yang tiada henti memberikan support, doa dan membantu proses tugas akhir ini hingga selesai.
- 4) Bapak Umar S.T.,M.T selaku dosen pembimbing dalam penyusunan tugas akhir hingga tugas akhir ini selesai.
- 5) Bapak Dona Aliananta selaku unit pelaksana di Gardu Induk 150 kV Manisrejo yang telah memberikan izin untuk mengambil data dan membantu saat penelitian.
- 6) Teman-teman seperjuangan dan teman-teman Teknik Elektro angkatan 2016 yaitu Bimby, Rama, Arifin, Adnan, Bilal, Bagus, Arbhi, Alfian, Satrio,

Rozi, Age, Harish, Rusdi dan teman-teman lainnya yang telah memberikan dukungan untuk menyelesaikan tugas akhir ini.

DAFTAR PUSTAKA

- American National Standard. (1986). IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding. The Institute of Electrical and Electronics Engineers, Inc. New York.
- Dawalibi, W.Xiong, Jinxi. (1995). *Transient Performance of Substation Structures and Associated Grounding Systems*. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRY APPLICATION.
- Gantara, A. (2018). *Analisa Pengukuran Pentanahan Transformator pada Gardu Distribusi di Penyulang Kutilang PT. PLN(PERSERO) RAYON KENTEN*. Jurusan Teknik Elektro, Program Studi Teknik Listrik Politeknik Negeri Sriwijaya.
- IEEE Guide for Safety in AC Substation Grounding, IEEE Standard 80-2000.
- IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System, ANSI/IEEE Std. 81-1983, 1983.
- Riyanto, A & Simatupang, J. W. (2019). *Analisis Sistem Pentanahan Jaringan Gardu Induk 150KV PT BEKASI CIKARANG POWER*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Presiden 17 Agustus 1945 Jakarta.
- Syofian, A. (2013). *Sistem Pentanahan Grid pada Gardu Induk PLTU Teluk Sirih*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Padang.
- Tanjung, A. *Analisis pentanahan gardu induk Bagan Batu dengan bentuk konstruksi Grid (Kisi- Kisi)*. Jurusan Teknik Elektro, Fakultas teknik, Universitas Lancang kuning.